

# 대도시 녹지 연결성 평가기법 개발

- 경관생태학적 접근 -

김명수\* · 안동만\*\*

\*서울대학교 대학원 · \*\*서울대학교 조경학과

## I. 서론

### 1. 연구의 배경

도시의 형성과 확대는 자연 서식처를 파편화시키고 경관조각의 구조를 변화시킨다. 즉, 경관조각 규모의 감소, 형태의 변화, 경관조각간의 격리를 가져오고, 이는 다시 경관조각내 종다양성의 감소를 가져와 종국에는 국지적인 종의 멸종을 초래하기도 한다. 따라서, 도시화로 인한 도시녹지의 연결성 감소가 생물다양성을 위협하는 가장 중요한 요인<sup>1)</sup>이다.

도시내 녹지의 절대적인 양 뿐만 아니라 녹지의 유기적인 연결은 도시내 생물의 이동을 증진하여 도시의 생물다양성 증진에 기여할 수 있을 것이다. 그러나, 우리나라의 공원녹지계획은 1인당 공원녹지 면적 등 절대량을 기준으로 수립되고 있으며, 경관생태학적 접근에 의한 연결성을 고려한 연구와 계획은 부족한 실정이다.

### 2. 연구의 목적

서울시와 6개 광역시 도시내 녹지의 생태적 연결성을 평가하여 도시내 녹지의 연결성을 비교하고, 새로운 녹지를 조성할 경우 연결성 측면에서 가장 유리한 위치를 찾아내어 생태적으로 건강한 도시공원녹지 계획을 수립할 수 있게 하는 기법을 제시하고자 한다. 또한, 경관생태학적 원리에 입각한 녹지 계획기준을 제시하여, 새로 조성되는 녹지의 건강성 증진방안을 제안할 것이다. 구체적인 연구목적은 다음과 같다.

- 경관생태학적 접근을 통한 연결성 평가방법을 제시하고, 평가방법과 지수의 유용성 검증
- 평가방법을 7대 도시에 적용하여 도시내 녹지 연

결성과 분산도를 비교

- 도시녹지 조성시 연결성을 최대화 하기 위한 녹지와 생태통로 입지선정 방법 제시
- 모의실험을 통해 이동성과 연결성 지수와의 상관관계를 분석하고, 그 결과를 토대로 가장 유용하다고 생각되는 연결성 지수 선정
- 녹지조성 시나리오를 작성하여 연결성 및 이동성 공율에 미치는 영향을 파악하여 연결성 증진을 위한 녹지정책 대안 제시

## II. 연구사

경관생태학에서 경관조각간의 관련성은 매우 중요한 주제이다. 그래서, 경관생태학을 "경관조각의 과학(the science of patches)"(Pickett *et al.*, 1997)이라고 부르기도 한다. 왜냐하면, 경관조각은 경관의 구조적 속성으로서 시각적으로 쉽게 지각되어 경관생태학의 핵심적인 주제로 다루어지기 때문이다.

광의의 경관생태학은 토지이용을 결정하는 사람에게 경관의 자연적 체계와 사회적 체계에 대한 종합적 이해를 주고자 하는 것이다. 경관생태학은 경관의 구조, 기능, 변화를 연구하며, 자연과 인간에 의한 교란이 경관의 구조, 기능, 변화에 미치는 영향에 대해 관심을 갖는다.

특히, 인간에 의한 교란은 경관이질성의 변화(Rome and Night, 1982; Weins, 1985; Turner, 1987; 안동만 등, 1998)를 가져오고, 자연 서식처의 파편화는 생물다양성을 위협하는 가장 큰 요인이 되고 있으며, 따라서 가장 중요한 연구주제이다. 또한, 경관구조의 변화가 경관조각내의 개체군에 어떠한 영향을 주는지도 중요하다. 이러한 주제를 다루는 분야로 선택물지리학, 서식패턴분석(Nested Subset Analysis), 메타개체군(Metapopulation)

역동성, 최소존속개체군(Minimum Viable Population) 이론 등이 있다.

또한, 파편화에 대한 연구(Andren, 1994; Andreassen *et al.*, 1998; Apeldoorn, 1995; Barrett and Peles, 1994; Brennerman and Eubanks, 1988; Cutler, 1991; Dooley and Bowers, 1998; Fahrig and Merriam, 1985; 김상욱과 박중화, 2001; 장갑수와 박인환, 1999)는 서식처 단절의 문제점과 이를 해결하는 데 초점을 맞추고 있다. 서식처 파편화의 영향에 대한 연구, 생태통로에 대한 찬반논쟁, 파편화 문제해결을 위한 통로의 효과와 적절한 폭과 길이 등 생태통로에 대한 연구도 이루어지고 있다.

### III. 연구방법

위성영상을 이용하여 토지피복분류를 실시하고, 분류 자료를 근거로 연결성 평가는 다음의 지수를 사용하였다.

#### 1. $\alpha$ , $\beta$ , $\nu$ 지수

$$\nu = \frac{L}{L_{max}} = \frac{L}{3(V-2)} \quad (식1)$$

여기서, L = 연결된 링크 수; L<sub>max</sub> = 연결가능한 최대의 링크 수; V = 경관조각 수

$$\alpha = \frac{(L - V + 1)}{3(V - 2) - (V - 1)} = \frac{(L - V + 1)}{(2V - 5)} \quad (식2)$$

여기서, L = 연결된 링크 수; V = 경관조각의 수

$$\beta = \frac{L}{N} \quad (식3)$$

여기서, L = 통로의 수 N = 결절점의 수

#### 2. 중력모델에 의한 연결성(CCE, CCI) 지수

$$CCE = \frac{\sum_{i=1}^{totalpatch-1} \sum_{j=i+1}^{totalpatch} \frac{A_i \times A_j}{P_{ij}^2}}{N} \quad (식4)$$

여기서, A<sub>i</sub> = 경관조각 i의 면적; A<sub>j</sub> = 경관조각 j의 면적;  
P<sub>ij</sub> = 가장 가까운 경관조각간의 거리(경관조각 무게중심간의거리); N = 경관조각의 수

$$CCI = \frac{\sum_{i=1}^{totalpatch-1} \sum_{j=i+1}^{totalpatch} \frac{A_i \times A_j}{P_{ij}^2}}{N} \quad (식5)$$

여기서, A<sub>i</sub> = 경관조각 i의 면적; A<sub>j</sub> = 경관조각 j의 면적;  
P<sub>ij</sub> = 가장 가까운 경관조각간의 거리(가장 가까운 주변부간의거리); N = 경관조각의 수

### 3. 개량된 연결성 지수

#### 1) 분산도(Dispersion)

$$R_c = \left(\frac{\lambda}{\pi}\right) \frac{\sum d_c}{N} \times \frac{A_i + A_j}{2} \quad (식6)$$

여기서, R<sub>c</sub> = 분산도; d<sub>c</sub> = 최단거리에 있는 경관조각까지의 거리; λ = 경관조각의 밀도; A<sub>i</sub> = i 번째의 면적; A<sub>j</sub> = j 번째 경관조각의 면적; N = 경관조각의 수

#### 2) 격리도(Isolation)

$$I = \frac{\sum_i P_{ij} \times A_i}{N} \quad (식7)$$

여기서, P<sub>ij</sub> = 경관조각 i에서 가장 가까운 경관조각 j까지의 거리; A<sub>i</sub> = 경관조각의 면적; N = 경관조각의 총 수

$$D = \frac{\sum \sqrt{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)}}{N} \quad (식8)$$

여기서, σ<sub>x</sub> = 대상지 중심을 xy좌표의 (0, 0)으로 할때 x좌표  
σ<sub>y</sub> = 대상지 중심에서 y좌표

### IV. 결과 및 고찰

다양한 연결성 평가방법을 검토하고, 각 방법에서 사용하는 지수 값을 우리나라 7대 도시에 적용하여 분석하였다. 각 도시의 녹지 연결성을 계량화하여 도시간 차이를 비교하였다.

녹지 연결성과 동물이동 모의실험 결과를 비교한 결과, 연결성 지수 크기와 이동성공율과의 관계를 피어슨(Pearson) 상관관계 분석을 통해 살펴보았을 때, 가장 유의미한 연결성 지수는 감마지수와 분산도로 나타났다.

도시간 녹지 연결성 측정 결과, 감마지수와 분산도의 도시간 순위는 다음 표와 같다. 감마지수와 분산도에서 가장 녹지 연결성이 양호한 도시는 서울과 부산, 인천으로 나타났다.

서울시의 경우 녹지 연결성이 양호하게 나타난 것은 도시내 녹지가 징검다리(stepping stone) 형태로 분포하여 분산도가 낮게 나타났고, 한강을 포함한 하천 등 통로가 많이 분포하여 감마지수가 높았기 때문으로 해석된다. 부산시의 경우 해안도시의 특성상 해안을 따라 선형으로 도시가 발달하고, 도시의 후면으로 산림이 연

속적으로 분포하는 특성이 반영되어 연결성이 높은 것으로 사료된다.

감마지수가 가장 높은 도시의 분산도가 가장 낮은 것이 일반적이지만, 항상 가장 낮은 것은 아니다. 감마지수와 분산도가 음의 상관관계를 보이는 경향이 있지만, 항상 같은 순서로 나타나지는 않는다. 따라서, 연결성을 고려할 때, 두 가지 지수를 동시에 고려할 필요가 있다.

Table 1. Connectivity of Urban Green Space by Cities

Index	1	2	3	4	5	6	7
γ Index	0.28 Pusan	0.27 Seoul	0.23 Incheon	0.23 Daegu	0.23 Ulsan	0.22 Kwangju	0.20 Daejeon
Dispersion (Rc)	733 (0.00)	819 (0.15)	991 (0.44)	1,314 (1.00)	1,784 (1.81)	1,792 (1.83)	2,260 (2.65)
	Incheon	Pusan	Seoul	Daegu	Daejeon	Kwangju	Ulsan

( ): Standardized Value (= (Dispersion - Mean) / (Standard Deviation))

각 도시별로 최적의 녹지 및 통로입지 우선순위를 검토한 결과, 공통적으로 나타난 특징은 연결성 증대를 위해 도시 외곽 대규모 녹지(mainland)와 도시 내부 사이에 녹지나 통로의 조성이 필요한 것으로 나타났다. 또한, 도심을 흐르는 하천을 생태통로로 조성하거나 자연형 하천으로 복원하는 것이 연결성 증대에 기여하는 것으로 나타났다. 특히, 외곽 대규모 녹지와 도시 내부 간의 거리가 먼 경우, 징검다리 녹지를 조성하면 도시 녹지 연결성 증대효과가 큰 것으로 나타났다.

서울시를 대상으로 녹지조성 대안별로 시나리오를 작성하여 시나리오별 연결성과 동물이동을 모의실험하였다. 그 결과, 하천 통로의 녹화가 연결성과 동물 이동 성공률 증대에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

본 연구는 경관 구조적인 측면에 대한 고려를 위해 도시녹지계획에 연결성 개념을 적용하여 도시간 녹지 연결성을 비교하고, 연결성과 이동성공율의 상관관계를 통해 연결성 지수의 유용성을 살펴보고, 모의실험을 통해 녹지조각과 통로의 입지 선정기법을 제시한 데 의의가 있다고 할 수 있다. 기존의 개념적 수준의 연결성을 실제 대도시에 적용할 수 있는 기법으로 발전시키고, 우리나라 7대 도시의 녹지 연결성을 분석·비교하여 도시녹지 정책의 시사점을 도출하고, 이동 모의실험을 통해 녹지 및 통로 입지 우선순위를 제시하였다.

본 연구의 한계는 첫째, 본 연구에서 분석한 녹지 연결성과 동물의 이동이라는 생태적 기능과의 관계가 현장실험이나 현장자료 수집을 바탕으로 한 것이 아니라 모의실험을 통해 분석한 점이다. 앞으로 현장시험이나

조사를 통한 경험적 자료에 의한 분석이 필요할 것이다.

둘째, 본 연구에서는 자료 취득이 용이하고 이미 많은 분류기법이 개발되어 있기 때문에 Landsat TM 위성영상 자료를 사용하였다. 그러나, Landsat TM 위성영상 해상도가 30m라는 한계를 갖는다. 최근 고해상도 위성영상의 활용이 시작되고 있기 때문에, 고해상도 위성영상을 활용하여 보다 정밀한 토지피복분류를 했을 때 해상도 변화에 따른 연결성 변화 연구가 필요할 것이다.

주 1. 파편화의 생물학적 영향은 Meffe and Carroll(1994 : 237~264)을 참조하고, 파편화가 어떠한 기작에 의해 멸종을 가져오는지는 Soule(1986)에 잘 정리되어 있다.

## 인용문헌

1. 김상욱, 박종화(2001) 북한 도시지역의 산림파편화 변화조사. 환경영향평가 10(1):39~47.
2. 안동만, 박은관, 김인호, 김명수, 박소영 (1998) 서울시 주변지역의 경관이질성 변화 분석기법 개발을 위한 기초연구. 한국조경학회지 26(3):288~296.
3. 장갑수, 박인환(1999) 경상북도 4개 도시의 녹지파편화 현상 비교. 환경영향평가 8(4):13~23.
4. Andreaassen, H. P., K Hertzberg and R. A. Ims(1998) Space-Responses to Habitat Fragmentation and Connectivity in the Root Vole *Microtus Oeconmus*. Ecology 79(4):1223~1235.
5. Andren, H.(1994) Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat : a review. OIKOS 71(3):355~366.
6. Apeldoorn, Rob C.(1995) Fragmented Mammals: What does that mean?. Proceedings of the International Conference Habitat Fragmentation, Infrastructure and the Role of Ecological Engineering, 17-21 Sept. 1995, Delft, Netherlands:121~126.
7. Barrett, G.W. and J.D. Peles(1994) Optimizing Habitat Fragmentation : an agrolandscape perspective. Landscape and Urban Planning 28:99-105.
8. Brenneman, R.E. and T.R. Eubanks(1988) Forest Fragmentation in the Northeast : An industry perspective. General Technical Report(No.140). USDA, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station:23~25.
9. Cutler, A.(1991) Nested Faunas and Extinction in Fragment Habitats. Conservation Biology 5:496~505.
10. Dooley, J.L. and M. Bowers(1998) Demographic Responses to Habitat Fragmentation : Experimental Test at the Landscape and Patch Scale. Ecology 79(3):969-980.
11. Fahrig, L. and G. Merriam(1994) Conservation of Fragmented Populations. Conservation Biology 8:50~59.
12. Meffe, G. K. and C. R. Carroll(1994) Principles of Conservation Biology. Sunderland, MA, Sinauer Associates, Inc.
13. Pickett, S.T.A., R.S. Ostfeld, M. Shachak and G.E. Linkens (1997) The Ecological Basis of Conservation : Heterogeneity, Ecosystem, and Biodiversity. New York, Chapman and Hall.

14. Romme, W.H. and D.H. Knight(1982) Landscape Diversity : the Concept Applied to Yellowstone Park. *Bioscience* 32 : 664~670.
15. Turner, M.G.(ed.)(1987) *Landscape Heterogeneity and Disturbance*. New York. Springer-Verlag.
16. Weins, J.A.(1985) Vertebrate responses to environmental patchiness in arid and semiarid ecosystems in Pickett, S.T.A. and P.S. White(eds.)(1985) *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. San Diego. Academic Press.